

# ***Boletim de Pesquisa 15*** ***e Desenvolvimento***

ISSN 1806-3322  
Dezembro, 2010

**Estimativa do Estoque de Carbono em  
Sistemas de Produção de Soja e Pastagem  
na Região Norte Mato-Grossense**



**Figura de capa:** Plantação de soja na Região Norte Mato-Grossense.

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Monitoramento por Satélite  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 15***

### **Estimativa do Estoque de Carbono em Sistemas de Produção de Soja e Pastagem na Região Norte Mato-Grossense**

*Sandra Furlan Nogueira  
Célia Regina Grego  
Carlos Fernando Quartaroli  
Ricardo Guimarães Andrade  
Wilson Anderson Holler  
Daiana Morelli Vidal*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Monitoramento por Satélite**

Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão

CEP 13070-115 Campinas, SP

Telefone: (19) 3211 6200

Fax: (19) 3211 6222

www.cnpm.embrapa.br

sac@cpnm.embrapa.br

**Comitê Local de Publicações**

Presidente: *Cristina Criscuolo*

Secretária-Executiva: *Shirley Soares da Silva*

Membros: *Bibiana Teixeira de Almeida, Daniel de Castro Victoria, Davi de Oliveira Custódio, Graziella Galinari, Luciane Dourado, Vera Viana dos Santos*

Supervisão editorial: *Cristina Criscuolo*

Revisão de texto e ilustração da capa: *Graziella Galinari*

Normalização bibliográfica: *Meire Volotão Stephano*

Tratamento de ilustrações e editoração eletrônica: *Shirley Soares da Silva*

1ª edição

1ª impressão (2010): versão digital.

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

Nogueira, Sandra Furlan

Estimativa do estoque de carbono em sistema de produção de soja e pastagem na região norte mato-grossense / Sandra Furlan Nogueira, Célia Regina Grego, Carlos Fernando Quartaroli, Ricardo Guimarães Andrade, Wilson Anderson Holler e Daiana Morelli Vidal – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

28 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 15)  
ISSN 1806-3322

1. Estoque de Carbono. 2. Soja. 3. Pastagem. 4. Geoprocessamento. 5. Estado de Mato Grosso – Pastagem – Soja. I. Grego, Célia Regina. II. Quartaroli, Carlos Fernando. III. Andrade, Ricardo Guimarães. IV. Holler, Wilson Anderson. V. Vidal, Daiana Morelli. VI. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas, SP). VII. Título. VIII. Série.

CDD 631.47

---

© Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010

# Autoria

**Sandra Furlan Nogueira**

Doutora em Química na Agricultura e no Ambiente  
Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite  
*sandra@cnpm.embrapa.br*

**Célia Regina Grego**

Doutora em Energia na Agricultura  
Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite  
*crgrego@cnpm.embrapa.br*

**Carlos Fernando Quartaroli**

Mestre em Agronomia  
Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite  
*quarta@cnpm.embrapa.br*

**Ricardo Guimarães Andrade**

Doutor em Agrometeorologia na Agricultura  
Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite  
*ricardo@cnpm.embrapa.br*

**Wilson Anderson Holler**

Bacharel em Engenharia Cartográfica  
Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite  
*holler@cnpm.embrapa.br*

**Daiana Morelli Vidal**

Bacharelada em Ciências Biológicas  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

# Sumário

Resumo .....	6
Introdução .....	7
Material e Métodos .....	9
Área de estudo.....	9
Obtenção dos dados. ....	12
Elaboração de mapas coropléticos .....	15
Resultados e Discussão .....	16
Cultivo de soja .....	16
Pastagens no polo de soja .....	22
Conclusões .....	26
Referências .....	26

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Localização e limite dos municípios da área de estudo.....	10
<b>Figura 2.</b> Mapa de solos da área de estudo e delimitação das áreas de culturas anuais (SEPLAN, 2009a e 2009b). ....	11
<b>Figura 3.</b> Mapa de solos da área de estudo e delimitação das áreas de pastagens (SEPLAN, 2009a e 2009b). ....	11
<b>Figura 4.</b> Percentual da área dos municípios colhida com soja nos anos de 1999 e 2007. ....	20
<b>Figura 5.</b> Estoque médio de carbono orgânico no solo por hectare em áreas colhidas com soja nos anos de 1999 e 2007. Dados estimados por município. ....	21
<b>Figura 6.</b> Percentual da área dos municípios ocupada por pastagens nos anos de 1996 e 2006. ....	24
<b>Figura 7.</b> Estoque médio de carbono orgânico no solo por hectare em áreas de pastagens nos anos de 1996 e 2006. Dados estimados por município. ....	25

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Estimativa dos estoques de carbono orgânico do solo sob vegetação nativa no Estado de Mato Grosso .....	12
<b>Tabela 2.</b> Dados da produção de soja nos anos de 1999 e 2007 .....	18
<b>Tabela 3.</b> Dados municipais de incremento de área colhida e produtividade da soja entre 1999 e 2007 e estimativa dos estoques médios de COS por município em áreas com soja em 1999 e 2007 .....	19
<b>Tabela 4.</b> Áreas com pastagens e estimativas dos estoques médios de COS por hectare em áreas com pastagens por município e para toda a área de estudo .....	23

## Estimativa do Estoque de Carbono em Sistemas de Produção de Soja e Pastagem na Região Norte Mato-Grossense

---

*Sandra Furlan Nogueira*

*Célia Regina Grego*

*Carlos Fernando Quartaroli*

*Ricardo Guimarães Andrade*

*Wilson Anderson Holler*

*Daiana Morelli Vidal*

### Resumo

A região norte do Mato Grosso destaca-se pelo seu novo e complexo cenário de uso e cobertura das terras, caracterizado principalmente pela conversão de vegetação natural em pastagens e áreas agrícolas e também pela conversão entre sistemas de produção agropecuária. Essas conversões mostram-se bastante representativas para estudos que visem o melhor entendimento dos padrões físicos e temporais da expansão e intensificação agropecuária, assim como seus efeitos sobre as características físicas, químicas e biológicas dos solos. O objetivo deste trabalho foi utilizar ferramentas de geoprocessamento para analisar dados sobre o cultivo da soja e pastagem, caracterizar a evolução dessas culturas em municípios selecionados do Estado de Mato Grosso e realizar estimativas de estoque de COS sob tais culturas e dos estoques médios de COS por município. Para a estimativa do COS foram utilizados mapas digitais de solo, de biomas e das áreas produtoras em 1999 e 2007 para soja e 1996 e 2006 para pastagem. As áreas produtoras foram divididas em unidades cartográficas segundo a combinação de solos, biomas e cultivo com soja ou pastagem. Os valores de COS foram estimados para cada unidade cartográfica pela aplicação de fatores publicados em literatura que correlacionavam o estoque de COS aos solos, biomas e cultivo com soja ou pastagem. Posteriormente, para cada município da região, obteve-se o estoque médio de COS por hectare nas áreas produtoras. Mapas coropléticos com os valores de COS por município foram elaborados, assim como mapas com dados municipais de porcentagem de áreas colhidas de soja e cultivadas com pastagem. Nos municípios avaliados, em solos cultivados com soja, a variação média no estoque de COS, obtida através das estimativas realizadas, foi positiva, de 2,7% ou 1,3 Mg ha<sup>-1</sup>. Essa variação decorre da adoção crescente da prática do plantio direto, uma forma de manejo que favorece a estabilização da matéria orgânica no solo. Com relação às estimativas de variação no estoque de COS em áreas sob pastagens, os dados apontaram um acréscimo médio positivo de 3,7% ou 1,8 Mg ha<sup>-1</sup>.



## Introdução

Entre as formas de uso das terras no Mato Grosso, ressaltam-se as áreas dedicadas à produção de soja e as pastagens para criação de gado bovino. O estado é líder nacional na produção de soja. Na safra 2007/2008, produziu 50% das 37,8 milhões de toneladas da região Central do Brasil (DALL' AGNOL; HIRAKURI, 2009; CONAB, 2009). O estado também possui o maior rebanho bovino brasileiro, com 12% do efetivo nacional e 22,8 milhões de hectares de pastagens, cerca de 25% da área do estado (IBGE, 2009b). Em 2008, o valor da carne exportada pelo estado superou o valor das exportações de soja, resultado do crescimento da produção e da qualidade das carnes produzidas.

A liderança do Mato Grosso na produção de soja foi obtida com a expansão da cultura pelas áreas do Bioma Cerrado da região Central do Brasil. No final dos anos 1970, mais de 80% da produção brasileira de soja era colhida na região Sul. Apenas 2% da produção nacional era colhida em áreas do Bioma Cerrado. Em 1980, a produção de soja no Cerrado já correspondia a 20% da produção nacional, em 1990 ultrapassava os 40% e chegava a 58,5% em 2007. Essa expansão, associada ao expressivo incremento da produtividade, tornou a soja o produto líder das exportações do agronegócio brasileiro. A comparação de dados da produção nacional do ano de 2006 com dados da década dos anos 1960 revela aumentos de 1,3 milhões de hectares para 20,7 milhões de hectares na área produtora, e de 1.140 kg ha<sup>-1</sup> para 2.823 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade (DALL' AGNOL; HIRAKURI, 2009; CONAB, 2009).

A região norte do Mato Grosso destaca-se pelo seu novo e complexo cenário de uso e cobertura das terras, caracterizado principalmente pela conversão da vegetação natural para agricultura e pela conversão entre sistemas de produção agropecuária. Essas conversões mostram-se bastante representativas para estudos que visem o melhor entendimento dos padrões físicos e temporais da expansão e intensificação agropecuária, assim como seus efeitos sobre as características físicas, químicas e biológicas dos solos.

A matéria orgânica do solo (MOS) possui papel chave na sustentabilidade da produtividade de um agroecossistema e na sua conservação em longo prazo. Quantidades adequadas de MOS são essenciais para manter ou melhorar a fertilidade, a porosidade do solo, a capacidade de infiltração, a retenção de umidade e a resistência à erosão (GREENLAND et al., 1992; TIESSEN et al., 1994). Em uma escala global, a MOS funciona como um grande reservatório de carbono (estima-se em 1.500 Pg o carbono armazenado pela MOS) e, além disso, é o terceiro maior compartimento no atual ciclo do carbono (BATJES, 1996). Mudanças no uso e cobertura das terras, assim como no manejo dos solos, acarretam profundos efeitos tanto na quantidade como na dinâmica da MOS, na prática medida como carbono orgânico do solo (COS). Tais efeitos no COS ocorrem em escala global e contribuem para o aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (SCHIMMEL, 1995). Uma implementação em larga escala de práticas que favoreçam a entrada de COS no solo tem o potencial de mitigar o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico e também atenuar os efeitos do aquecimento global (AMADO et al., 2001; SCHUMAN et al., 2002).

O estoque de carbono orgânico no solo (COS) depende da intensidade dos processos de adição de resíduos vegetais e da decomposição destes. A decomposição das frações orgânicas do solo, por sua vez, é dependente de vários fatores biológicos, químicos e

físicos que conferem a essas frações proteção ao ataque dos microrganismos decompositores (SCHLESINGER, 1991). A magnitude das adições e perdas de COS num determinado agroecossistema determina sua direção em relação à sustentabilidade ou à degradação. Tanto a adição quanto a perda de COS dependem, direta ou indiretamente, do manejo do solo, e a estabilidade do sistema é determinada pelo balanço entre entradas e saídas (ADDISCOT, 1992).

Nos trópicos, a conversão de áreas com vegetação nativa para sistemas agrícolas normalmente resulta em perdas de COS. Essas perdas são consequência da combinação de altas temperaturas, umidade e manejos agrícolas como a queima da biomassa vegetal e o revolvimento do solo (SCHOLLES; BREEMEN, 1997; RESCK, 1997, LAL, 2004). Os conteúdos de COS no solo estão diretamente relacionados com a textura do solo e há uma clara tendência de maiores conteúdos em solos com elevados teores de argila, pela proteção física e química conferida (FELLER; BEARE, 1997; CHRISTENSEN, 2000; ROSCOE; MACHADO, 2002; SIX et al., 2002, 2004). A estabilização do COS pela interação com minerais do solo, segundo Zech et al. (1997), é mais desejada em solos tropicais do que em temperados, pelo fato de as condições climáticas prevalecentes em solos tropicais favorecerem a rápida decomposição dos componentes orgânicos. A oclusão de compostos orgânicos pelos argilominerais (agregados) representa uma barreira física aos microrganismos, dificultando a decomposição.

No plantio convencional (PC), é usual o revolvimento do solo antes do plantio com a finalidade de destruir plantas daninhas e deixar o solo apto aos implementos de semeadura que requerem solos sem resíduos vegetais e sem compactação superficial. A operação de revolvimento resulta em perda de COS, pois destrói os agregados do solo que formam uma proteção física contra a decomposição da MOS; estimula um aumento temporário na atividade microbiana, pelo aumento na aeração do solo; e incorpora resíduos superficiais ao solo, onde as condições para a decomposição são melhores do que na superfície (BERNOUX et al., 2006).

No plantio direto (PD), com a eliminação do revolvimento, cessa a existência dos mecanismos de perda de C mencionados anteriormente, ou seja, ocorre um aumento do tempo de residência do C no solo. A palha e os demais restos vegetais de culturas anteriores são mantidos na superfície do solo, garantindo cobertura e proteção do mesmo contra processos como a erosão. No momento do plantio, o preparo do solo restringe-se à abertura de um sulco onde são depositadas sementes e fertilizantes. A rotação de culturas (por exemplo, leguminosas e gramíneas) é utilizada nesse sistema com os objetivos principais de manter o solo coberto ao longo de todo o ano e reduzir perdas de solo, diversificar e aumentar o número de safras e explorar sinergias entre diferentes culturas agrícolas (MIRANDA, 2007).

Os sistemas de pastagens são perenes e diferem dos sistemas de produção de culturas anuais quanto à dinâmica do COS. Em pastagens, os fatores que afetam o COS relacionam-se mais com a fisiologia da planta, entrada de insumos e intensidade de pastejo do que com a forma de preparo do solo e diversidade de espécies cultivadas em uma mesma área.

O acúmulo de COS sob pastagens é função da produção primária líquida (PPL) sobre e abaixo da superfície do solo. Fisher et al. (2007) definiram que, diferentemente do desenvolvimento sincronizado de culturas anuais de ciclos curtos, as pastagens possuem um ciclo contínuo de brotações, crescimento e morte de unidades individuais (perifilhos). Assim, conforme a produção de biomassa vegetal da pastagem aumenta, as

taxas de senescência e morte de unidades velhas também aumentam, até que finalmente se igualam à taxa de brotação de novas unidades, conduzindo ao chamado máximo produtivo.

Das explicações anteriores conclui-se que o entendimento dos diferentes sistemas de produção agropecuária (diferentes combinações de culturas, sistemas de manejo e preparo do solo e tipos de solos), assim como a alteração desses tipos de usos da terra em uma determinada área e subsequentes alterações dos estoques de carbono dos solos, representa uma importante etapa nas investigações sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas (MIELNICZUK et al., 2003). Por serem transformações que ocorrem em grandes áreas e de forma simultânea, os condicionantes dessas mudanças e os seus efeitos também atuam nessa escala.

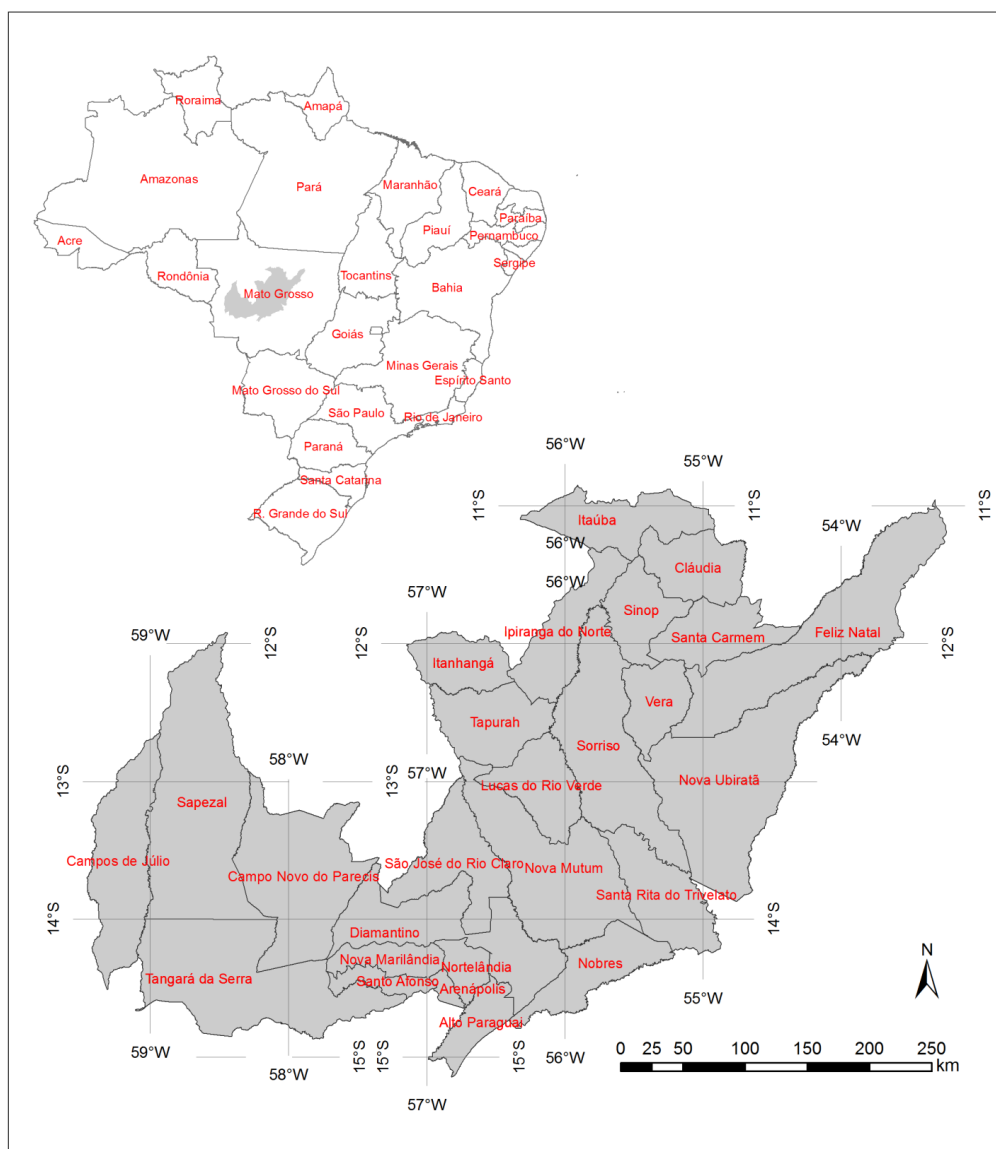
Os sistemas de informação geográfica (SIG) constituem uma importante ferramenta para monitorar grandes extensões geográficas, pela facilidade de armazenar, espacializar e analisar grandes quantidades de dados referentes aos recursos naturais e às atividades antrópicas; e avaliar ou simular as consequências dessas atividades sobre a superfície terrestre (MORTON et al., 2006). Essa ferramenta foi usada neste trabalho para analisar dados sobre o cultivo da soja e pastagem, assim como caracterizar a evolução dessas culturas em municípios selecionados do Estado de Mato Grosso. Também foi usada na avaliação das estimativas de estoque de COS sob as culturas da soja e pastagem e dos estoques médios de COS por município, feitas a partir dos mapeamentos das áreas cultivadas segundo a forma de colheita praticada; além de informações de literatura sobre o comportamento dos estoques de COS em diferentes tipos de solo, biomas e manejos da soja e pastagem.

Ressalta-se ainda que, no contexto do Protocolo de Quioto, a quantificação dos estoques de carbono no solo e suas relações espaço-temporais com o uso da terra são importantes para a certificação dos sistemas de produção conservacionistas como atividades que atuam na redução das emissões de carbono, de modo a serem efetivamente incluídas nos acordos de créditos por emissão de carbono.

## Material e Métodos

### Área de estudo

A área de estudo compreende parte da mesorregião Norte Mato-Grossense, denominada neste trabalho como polo de produção de soja (PS). São 15.206.055 ha em área contínua envolvendo o território de 26 municípios do Estado de Mato Grosso. Essa região foi escolhida após avaliação da evolução da produção da soja entre os anos de 1999 e 2007 e é uma amostra representativa de diferentes cenários de expansão e intensificação do cultivo de soja (Figura 1).



**Figura 1.** Localização e limite dos municípios da área de estudo.

Os municípios do PS estão sobre solos classificados como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Latossolo Vermelho (LV) e Neossolo Quartzarênico (RQ) (Figuras 2 e 3) (SEPLAN, 2009b). O clima da região é do tipo Aw (Köppen), tropical, com chuvas concentradas no verão (outubro a abril), e um período seco bem definido durante a estação de inverno (maio a setembro). A média anual da precipitação pluviométrica é 1.900 mm por ano e a média anual da temperatura ambiente é 26 °C. A vegetação nativa original, ainda presente em algumas extensões, é composta por Savanas e transições entre Savana e Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2009a).



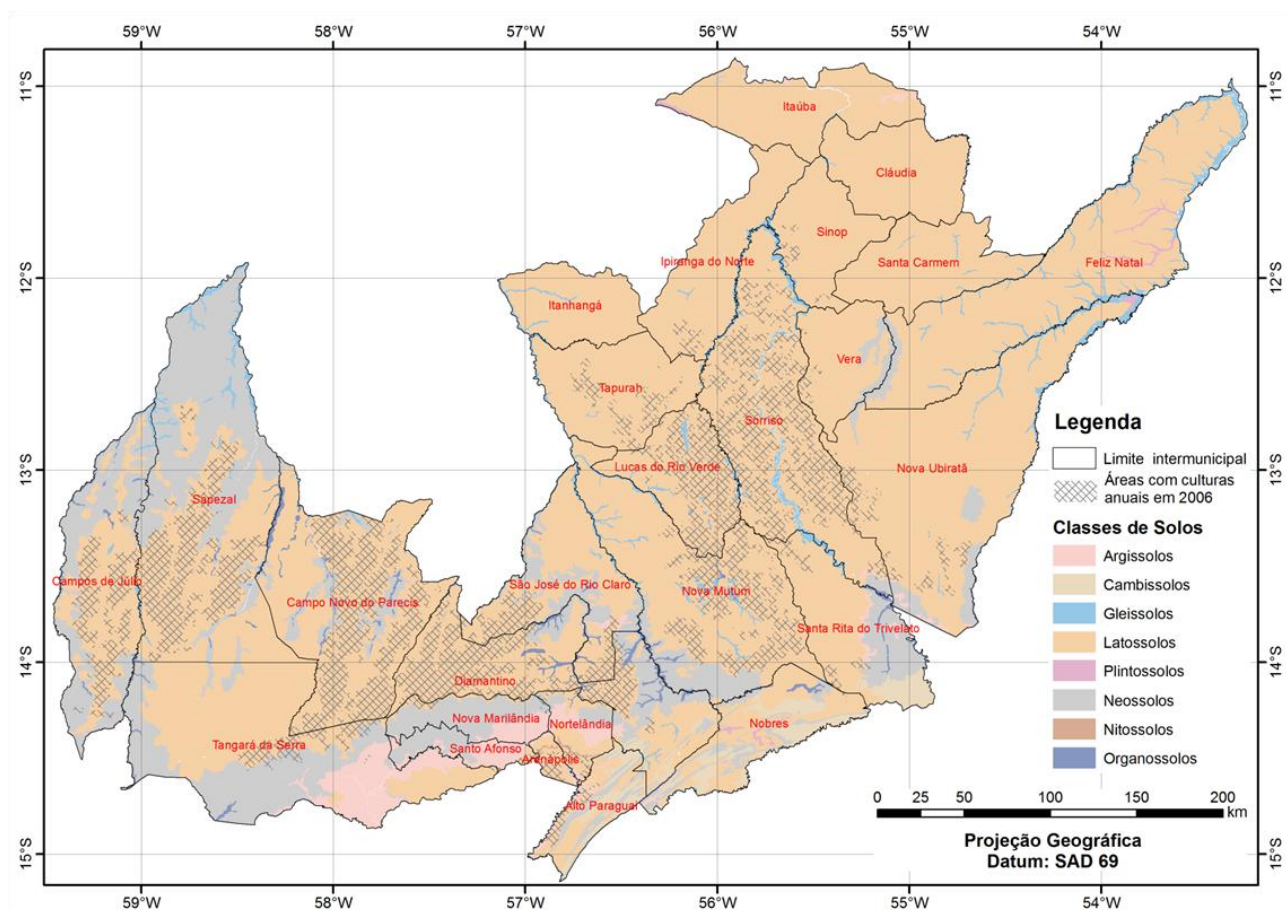


Figura 2. Mapa de solos da área de estudo e delimitação das áreas de culturas anuais (SEPLAN, 2009a e 2009b).

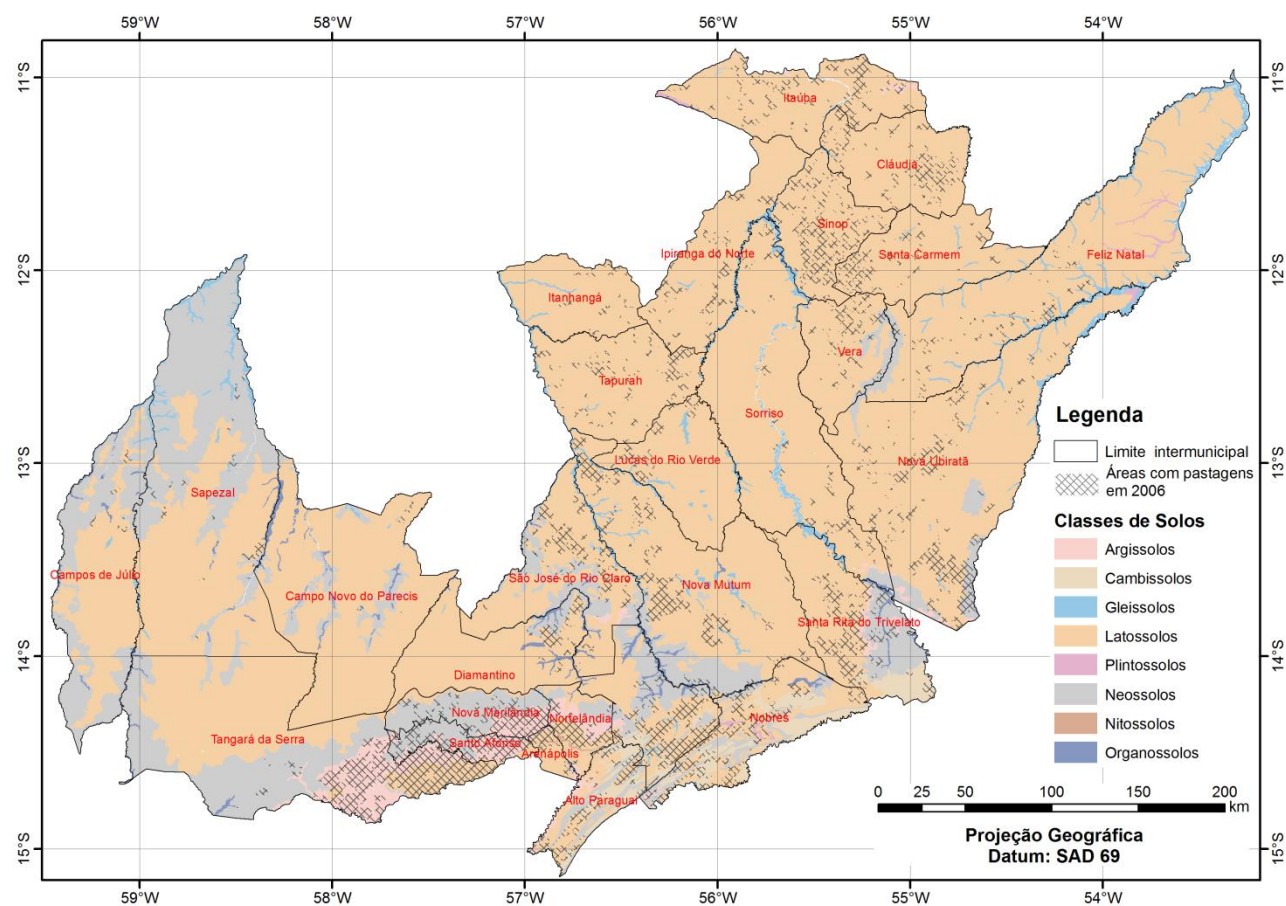


Figura 3. Mapa de solos da área de estudo e delimitação das áreas de pastagens (SEPLAN, 2009a e 2009b).

## Obtenção dos dados

As estimativas de estoque de COS por hectare em áreas cultivadas com soja para cada município foram feitas a partir de mapas digitais vetoriais em formato *shapefile* e dados publicados na literatura científica referentes aos estoques e alterações no COS em áreas agrícolas. Todos os procedimentos foram executados em ambiente de sistema de informação geográfica, por meio do software ArcGIS 9.2. Os mapas, produzidos pelo Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso – Prodeagro (SEPLAN, 2009a), eram compatíveis com a escala 1:250.000 e envolviam temas referentes a pedologia, formações vegetais e uso e ocupação das terras no ano de 2006. Também foi utilizado o mapa com a divisão político-administrativa dos municípios brasileiros, produzido pelo IBGE e compatível com a escala 1:500.000 (IBGE, 2009c). Todos os mapas foram reprojatados para o Sistema de Projeção Cônica Equivalente de Albers que possibilita maior exatidão no cálculo de áreas.

Os mapas em formato *shapefile* representam as unidades cartográficas por polígonos e associam a cada polígono um registro contendo seus atributos alfanuméricos. Esses registros constituem a tabela de atributos do *shapefile*, armazenada em um arquivo do tipo dbf. Da intersecção dos *shapefiles* referentes aos mapas citados, resultou um novo *shapefile*, com novas unidades cartográficas e seus respectivos registros. Esses registros herdaram os atributos dos *shapefiles* originais, portanto cada unidade cartográfica passou a contar com dados sobre classe de solo (pedologia), uso e ocupação do solo, formação vegetal e município ao qual pertence. A área de cada unidade também foi calculada pelo software e inserida em seu respectivo registro.

Ao registro de cada unidade cartográfica que apresentava “culturas anuais” como forma de uso das terras em 2006, foi acrescentado o valor estimado de carbono estocado no solo por hectare, de acordo com a classe de solo da unidade. Os valores, apresentados na Tabela 1, foram obtidos em pesquisas realizadas por Mello (2007) e serão referenciados neste texto pelo símbolo Corig. Representam o estoque de carbono no solo por hectare em condição anterior à ocupação agrícola, quando os solos da unidade ainda estavam cobertos por vegetação nativa. Também foram acrescentados a cada registro os valores estimados de COS para as mesmas unidades cartográficas supondo que suas áreas estivessem cultivadas por soja em plantio direto há quatro anos ou mais. Esses valores foram obtidos pela multiplicação do Corig por um fator F que assumiu o valor 1,08, quando a unidade cartográfica apresentava cerrado ou cerrado novo como forma de vegetação natural; ou 1,01, quando a unidade apresentava outras formas de vegetação (floresta ou transição). Os valores de F foram baseados em pesquisa de Maia (2009) que aponta aumento dos estoques de COS em sistemas de plantio direto em áreas de Cerrado, Cerradão e Floresta Amazônica, em comparação aos estoques na condição de vegetação nativa.

**Tabela 1.** Estimativa dos estoques de carbono orgânico do solo sob vegetação nativa no Estado de Mato Grosso.

Solos	Estoques de carbono no solo (Mg ha <sup>-1</sup> )
Argissolos	49
Cambissolos	47
Chernossolos	76
Gleissolos	67
Latossolos	48
Neossolos	47
Nitossolos	53
Organossolos	157
Planossolos	51
Plintossolos	57
Vertissolos	52

Fonte: Mello (2007).

Para cada município, foram calculadas as estimativas dos valores médios de estoque de COS por hectare em áreas com culturas anuais em 2006 supondo duas situações: (a) todas as áreas produtoras com vegetação nativa (Equação 1); (b) todas as áreas produtoras com soja em plantio direto (Equação 2).

$$ECorig_j = \frac{\sum_{i=1}^n Corig_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (\text{equação 1})$$

$$ECpd_j = \frac{\sum_{i=1}^n Corig_i * F_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (\text{equação 2})$$

onde:

$ECpd_j$  = estoque médio de carbono no solo por hectare para as áreas do município j com culturas anuais em 2006 supondo a prática de plantio direto em todas as áreas;

$ECorig_j$  = estoque médio de carbono no solo por hectare para as áreas do município j com culturas anuais em 2006 quando elas ainda apresentavam vegetação nativa;

$A_i$  = área em hectares da unidade cartográfica i com culturas anuais em 2006 situadas dentro do município j;

$n$  = número de unidades cartográficas do município j com culturas anuais;

$Corig_i$  = estoque de carbono no solo por hectare na unidade cartográfica i quando ocupada por vegetação nativa;

$F_i$  = fator de conversão aplicado ao  $Corig_i$  para estimar o estoque de COS em áreas onde culturas anuais em plantio direto substituiu a vegetação nativa.

Os municípios de Cláudia, Feliz Natal, Itanhanguá, Itaúba e Santa Carmem não apresentavam áreas mapeadas com culturas anuais em 2006, entretanto, os dados do IBGE apontam produção de soja nesses municípios em 2007. Nesses casos, foi considerado que as áreas produtoras estavam situadas sobre latossolos, classe de solo amplamente dominante nesses municípios e em áreas com vegetação nativa equivalente a floresta ou transições, formas de vegetação que ocorrem nesses municípios.

A partir dos dados de  $ECpd_j$ ,  $ECorig_j$  e das estimativas de área colhida com soja por município levantados pelo IBGE em 2003 ( $Ac2003_j$ ) e em 2007 ( $Ac2007_j$ ), foram calculados, para cada município, os valores estimados do estoque de COS por hectare em áreas com soja no ano de 2007 ( $EC2007_j$ ). Para esses cálculos, supôs-se que as áreas com soja levantadas pelo IBGE para cada município estavam distribuídas pelos diferentes tipos de solo e vegetação segundo a mesma proporção verificada no mapeamento executado pelo SEPLAN (2009a) para culturas anuais em 2006. Essa suposição foi feita pelo fato de o IBGE fornecer apenas os dados numéricos de área colhida, sem mapear as áreas produtoras. Considerou-se que a diferença entre as áreas

colhidas em 2007 e 2003 de cada município representavam áreas de expansão recente da soja, onde antes existia vegetação nativa. Assim, o estoque de COS dessas áreas foi estimado a partir do valor médio de estoque de COS em condições de vegetação nativa ( $ECorig_j$ ), supondo que o tempo de cultivo da soja em plantio direto não foi suficiente para um aumento dos estoques de COS. Para o restante das áreas colhidas, áreas supostamente ocupadas por soja em plantio direto desde o ano de 2003, considerou-se o estoque médio de COS calculado para áreas com culturas anuais em plantio direto ( $ECpd_j$ ). Portanto, o estoque de COS por hectare em áreas produtoras de soja em 2007 para um município  $j$  foi estimado por:

$$EC2007_j = \frac{ECorig_j * (Ac2007_j - Ac2003_j) + ECpd_j * (Ac2003_j)}{Ac2007_j} \quad (\text{equação 3})$$

Quando a área colhida em 2007 era menor que a área colhida em 2003, o termo ( $Ac2007_j - Ac2003_j$ ) foi considerado igual a zero.

Nas condições naturais do Estado de Mato Grosso, não ocorrem rápidas alterações significativas no estoque de COS por hectare quando uma área sob vegetação nativa passa a ser ocupada pela cultura da soja pelo sistema de cultivo convencional. Quando adotado o sistema de plantio direto, alguma alteração é observada apenas após alguns anos de sua adoção. A consolidação da prática do plantio direto no Estado de Mato Grosso ocorreu apenas nos anos 1990; portanto, pode-se considerar que em 1999 a soja do estado era cultivada pelo sistema convencional ou por plantio direto recém-implantado e o estoque de COS por hectare das áreas produtoras era o mesmo verificado em condições de vegetação nativa. Deste modo, a estimativa do valor médio de COS por hectare para as áreas produtoras em 2006 por município ( $ECorig_j$ ), calculada pela Equação 1, foi considerada como estimativa para os estoques de COS em 1999. Como não havia mapeamento das áreas produtoras em 1999, supôs-se que estas estivessem distribuídas pelos diferentes tipos de solo e vegetação segundo a mesma proporção verificada no mapeamento executado pelo SEPLAN (2009b) para culturas anuais em 2006.

Os mapas digitais utilizados no processo de cálculo do estoque de COS por hectare para as áreas com pastagens foram os mesmos utilizados no cálculo dos estoques de COS em áreas com soja. Após a intersecção dos mapas digitais de pedologia, formações vegetais, uso e ocupação das terras no ano de 2006 e limites municipais ao registro de cada unidade cartográfica que apresentava "pastagens" como forma de uso das terras em 2006 foi acrescentado o valor estimado de carbono estocado no solo por hectare, de acordo com a classe de solo da unidade. Os valores foram os que constam da Tabela 1, referenciados como  $Corig$ , e representam o estoque de COS por hectare quando os solos da unidade ainda estavam cobertos por vegetação nativa. Posteriormente, foram acrescentados ao registro de cada unidade os valores de COS por hectare estimados para áreas com pastagens ( $Cpast$ ), calculados pela multiplicação do  $Corig$  por um fator "F" que considera as alterações no estoque de COS decorrentes da conversão de vegetação nativa para pastagens típicas. Os valores de "F" utilizados foram baseados em pesquisa desenvolvida por Maia (2009) e variam em função da classe de solo. Na área de estudo, foram utilizados o valor de 0,99 para áreas com Latossolos e Neossolos e o valor de 1,24 para áreas com outras classes de solos.



Para cada município, foram calculadas as estimativas dos valores médios de estoque de COS por hectare em áreas com pastagens em 2006 e 1996. Os valores das estimativas para o ano de 2006 foram calculados pela Equação 4. Para o ano de 1996, utilizou-se a Equação 5, considerando que os valores de COS em 1996 eram os mesmos de quando as áreas apresentavam vegetação nativa e que a distribuição das áreas com pastagens por classes de solo dentro de cada município em 1996 apresentava a mesma proporção verificada no mapeamento de 2006.

$$EC_{past_j} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{orig_i} * F_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (\text{Equação 4})$$

$$EC_{orig_j} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{orig_i} * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (\text{Equação 5})$$

onde:

$EC_{past_j}$  = estoque médio de carbono no solo por hectare para as áreas do município j com pastagens em 2006;

$EC_{orig_j}$  = estoque médio de carbono no solo por hectare para as áreas do município j com pastagens em 2006 quando elas ainda apresentavam vegetação nativa;

$A_i$  = área em hectares da unidade cartográfica i com pastagens em 2006 situadas dentro do município j;

$n$  = número de unidades cartográficas do município j com pastagens;

$C_{orig_i}$  = estoque de carbono no solo por hectare na unidade cartográfica i quando ocupada por vegetação nativa;

$F_i$  = fator decorrente da conversão de vegetação nativa em pastagens aplicado ao  $C_{orig_i}$  para estimar o estoque de COS em áreas com pastagens em 2006.

## Elaboração de mapas coropléticos

A representação cartográfica dos limites dos municípios localizados dentro da área de estudo foram associados os valores estimados de COS por hectare de soja colhida em 1999 e 2007 e pastagem em 1996 e 2006. Os polígonos que delimitavam a área dos municípios foram preenchidos por uma cor que correspondia à faixa de valores na qual o COS estimado para o município estava incluído. Esse processo, executado com ferramentas de SIG, resultou nos mapas coropléticos das Figuras 5 e 7.

Mapas coropléticos com dados municipais de área colhida de soja em 1999 e 2007 e de áreas com pastagens em 1996 e 2006 também foram construídos. Os dados de soja obtidos do Sistema SIDRA referem-se a estimativas anuais feitas pelos agentes do IBGE que resultam de contatos que os mesmos mantêm com técnicos do setor agrícola, com grandes produtores, e, ainda, do próprio conhecimento que os agentes possuem sobre as atividades agrícolas dos municípios ou região onde atuam (IBGE, 2009b). Os dados de áreas com pastagens por municípios para o ano de 1996 foram levantados durante o

Censo Agropecuário de 1995/1996. Os dados de áreas com pastagens de 2006 foram obtidos a partir das áreas mapeadas pela Seplan para o mesmo ano (SEPLAN, 2009b).

## Resultados e Discussão

### Cultivo de soja

As Tabelas 2 e 3 apresentam dados municipais da produção de soja em 1999 e 2007 e a estimativa dos estoques médios de COS por município em áreas de soja nos mesmos anos. A partir destes dados, calculou-se o percentual das áreas colhidas de soja em relação às áreas de cada município, apresentados na Figura 4.

A área colhida com soja praticamente dobrou quando se comparam os dados de 2007 com os dados de 1999 para toda a área de estudo. O aumento na quantidade produzida no mesmo período é ainda maior (aumento de 111%), decorrente do aumento concomitante da produtividade da cultura em 7,75%. A área colhida com soja representava 11,1% da área de estudo em 1999; em 2007 já era de 21,6%.

Em 1999 eram quatro os municípios cujas áreas colhidas de soja ultrapassavam 25% de suas respectivas áreas totais: Campo Novo dos Parecis, Diamantino, Lucas do Rio Verde e Sorriso. Em 2007, juntavam-se a esses os municípios de Nova Mutum, Santa Rita do Trivelato, Sinop e Tapurah. Entre esses, destacavam-se Lucas do Rio Verde e Sorriso, ambos, em 2007, com áreas colhidas em torno de 59% de suas áreas. Em números absolutos, em 1999 destacavam-se os municípios de Campo Novo dos Parecis, Diamantino, Sapezal e Sorriso, todos com área colhida superior a 200.000 ha. Em 2007, juntavam-se a esses os municípios de Lucas do Rio Verde, Nova Mutum e Nova Ubiratã.

A observação da localização das áreas ocupadas por culturas anuais em 1996, entre as quais há ampla predominância da soja, indica que essas culturas ocupavam preferencialmente as áreas de Latossolos, possivelmente em terrenos planos que permitem a mecanização. Quando se comparam os dados de percentual da área dos municípios colhido com soja (Figura 4), observa-se que aqueles situados na parte sul da área de estudo apresentam os mais baixos percentuais, situação que pouco se alterou entre 1999 e 2007. Esses municípios apresentam grandes áreas com Argissolos e Neossolos e relevo mais acidentado que os demais, o que pode limitar a expansão das áreas cultivadas nessa região. Por outro lado, tanto em 1999 quanto em 2007, os maiores percentuais de área colhida com a soja ocorriam nos municípios de Lucas do Rio Verde e Sorriso, com tendências de expansão da área com soja para os municípios adjacentes, municípios também com amplas áreas de Latossolos.

Em 2007, ainda eram pouco expressivas as áreas cultivadas com soja nos municípios de Itaúba, Cláudia, Santa Clara e Feliz Natal, situadas no nordeste da área de estudo. Aparentemente, tratam-se de municípios então com poucas áreas desbravadas pela agricultura, mas que, pela proximidade e características físicas semelhantes aos municípios de Sorriso e Lucas do Rio Verde, apresentavam potencial para a expansão das áreas cultivadas com soja.

Independentemente da forma de expansão e/ou intensificação do cultivo da soja na área de estudo nos anos avaliados, o sistema de plantio direto vem sendo utilizado como manejo mesmo nas áreas onde o cultivo é recente.

O sistema plantio direto é reconhecido como um sistema de cultivo nas regiões tropicais e subtropicais que promove a alta produtividade das culturas, principalmente em anos mais secos, combinada com o menor impacto no meio ambiente pelo eficaz combate à erosão hídrica. Atualmente, busca-se identificar, ainda no contexto dos benefícios ambientais, a contribuição do sistema plantio direto na mitigação da mudança climática global por meio do acúmulo de carbono orgânico no solo.

O Brasil é um dos países signatários do Protocolo de Quioto, que trata da redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE – ex. dióxido de carbono, metano e óxido nitroso). Atualmente, embora a redução de emissões pelo Brasil não seja compulsória, sempre se discute a possibilidade de o sistema plantio direto ser considerado como contribuinte eficaz para a mitigação das mudanças climáticas. O sistema plantio direto não é elegível para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para o período de 2008 a 2012 (MACHADO et al., 2003), mas há grandes possibilidades para após 2012. Por outro lado, o Brasil pode ser incluído, num futuro breve, no grupo dos países com obrigações de redução de emissões e os solos sob sistema plantio direto podem contribuir para o país cumprir as metas de reduções de emissões pelo acúmulo de carbono no solo.

Com relação ao estoque médio de COS por hectare em áreas com soja, não há diferenças significativas entre os municípios da região (Figura 5). Quando comparadas as estimativas para o ano de 1999 e 2007, observa-se um pequeno incremento do estoque de COS em praticamente toda a área. Pela metodologia utilizada nas estimativas quanto ao estoque de COS, a pequena variação observada entre os dois anos seria atribuída à implantação da prática do plantio direto, já que os outros fatores que influenciam no COS, classe de solo e tipo de vegetação, pouco variam nas áreas produtoras. Como se considerou que o plantio direto é a única forma de manejo da cultura na região e que essa prática contribui para aumentar o COS apenas se implantada há quatro anos ou mais, os municípios com grandes áreas de implantação recente da soja apresentaram variações no COS ligeiramente menores que municípios com áreas cultivadas há mais tempo (antes de 2004). Entre os municípios com os maiores valores de estimativa de COS por hectare em 2007 e também com os maiores incrementos na estimativa de COS estão Nobres, Nova Mutum, Nova Ubiratã, Sorriso e Santa Rita do Trivelato.

Considerando as áreas colhidas com soja em toda a área de estudo e comparando os valores estimados para 1999 com os de 2007, o estoque de COS por hectare aumentou de  $48,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  para  $49,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , um incremento de  $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  ou de apenas 2,7% em relação ao valor estimado para 1999.

Quando se passa do plantio convencional para o plantio direto, vários autores apontaram um incremento do C que às vezes se iguala ao solo como cobertura vegetal nativa, bem como uma melhoria na qualidade do solo (ZINN et al., 2005). Six et al. (2002), em uma revisão de literatura internacional, constataram um acúmulo médio de  $0,33 \pm 0,11 \text{ Mg de C ha}^{-1}$  na conversão de PC para PD. A explicação é que no PD a decomposição da MOS é mais lenta e a sua conservação é favorecida pela estruturação do solo. A média das variações nos estoques de C na conversão de PC para PD de 44 trabalhos nacionais apresentados por Bernoux et al. (2006) foi positiva, porém estatisticamente não difere de zero,  $0,48 \pm 0,51 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

**Tabela 2.** Dados da produção de soja nos anos de 1999 e 2007.

Município	Área do município 1999 (ha)	Área do município 2007 (há)	Área colhida 1999 (ha)	Área colhida 1999 (%)	Quant. produzida 1999 (Mg )	Produtividade 1999 (kg ha <sup>-1</sup> )	Área colhida 2007 (ha)	Área colhida 2007 (%)	Quant. produzida 2007 (Mg)	Produtividade 2007 (kg ha <sup>-1</sup> )
Alto Paraguai	205.150	205.150	1.995	0,97	5.387	2.700	6.690	3,26	20.070	3.000
Arenópolis	41.452	41.452	921	2,22	2.486	2.699	0	0,00	0	-
Campo Novo Parecis	941.193	941.193	271.855	28,88	758.475	2.790	298.000	31,66	894.000	3.000
Campos de Júlio	677.576	677.576	107.260	15,83	321.780	3.000	152.157	22,46	474.730	3.120
Cláudia	381.506	381.506	12.000	3,15	33.120	2.760	15.000	3,93	42.300	2.820
Diamantino	762.678	762.678	223.009	29,24	586.514	2.630	276.660	36,27	796.147	2.878
Feliz Natal	1.132.658	1.132.658	0	0,00	0	-	42.000	3,71	128.520	3.060
Ipiranga do Norte	-	415.707	-	-	-	-	120.000	28,87	374.400	3.120
Itanhangá	-	292.402	-	-	-	-	34.480	11,79	107.578	3.120
Itaúba	452.065	452.065	12.000	2,65	33.120	2.760	15.000	3,32	42.300	2.820
Lucas do Rio Verde	365.017	365.017	152.500	41,78	434.625	2.850	215.535	59,05	623.758	2.894
Nobres	385.327	385.327	2.606	0,68	6.776	2.600	6.000	1,56	18.000	3.000
Nortelândia	135.055	135.055	5.181	3,84	13.989	2.700	11.091	8,21	33.273	3.000
Nova Marilândia	194.270	194.270	7.161	3,69	19.335	2.700	6.000	3,09	17.640	2.940
Nova Mutum	1.288.726	952.894	136.000	10,55	372.368	2.738	310.000	32,53	970.610	3.131
Nova Ubiratã	1.263.667	1.263.667	40.000	3,17	112.800	2.820	205.557	16,27	576.382	2.804
Santa Carmem	391.972	391.972	3.300	0,84	8.991	2.725	30.960	7,90	92.880	3.000
S. Rita do Trivelato	-	461.924	-	-	-	-	144.000	31,17	436.320	3.030
Santo Afonso	116.832	116.832	100	0,09	270	2.700	1.200	1,03	3.528	2.940
São José do R. Claro	504.604	504.604	32.260	6,39	86.134	2.670	71.599	14,19	220.525	3.080
Sapezal	1.352.520	1.352.520	209.190	15,47	583.640	2.790	324.600	24,00	1.011.140	3.115
Sinop	317.137	317.137	12.000	3,78	33.120	2.760	80.000	25,23	240.000	3.000
Sorriso	923.901	923.901	305.000	33,01	884.500	2.900	543.000	58,77	1.662.666	3.062
Tangará da Serra	1.155.114	1.155.114	26.000	2,25	70.200	2.700	48.000	4,16	135.360	2.820
Tapurah	1.160.023	447.304	40.000	3,45	112.000	2.800	112.274	25,10	338.731	3.017
Vera	294.946	294.946	2.500	0,85	6.000	2.400	70.000	23,73	210.000	3.000
Área de Estudo	14.443.389	14.564.871	1.602.838	11,10	4.485.630	2.799	3.139.803	21,56	9.470.858	3.016

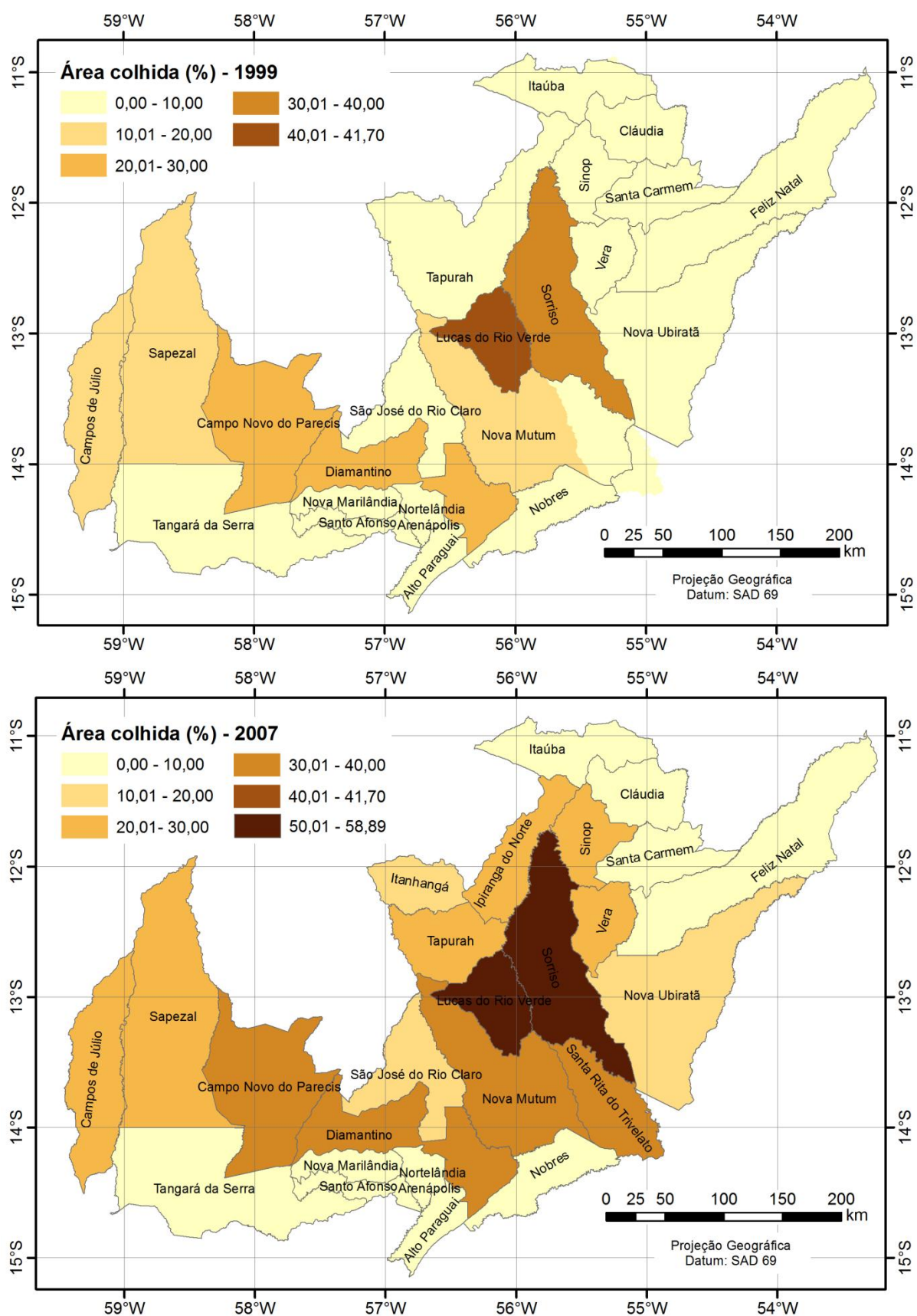
Fonte: Dados de área colhida e quantidade produzida obtidos do Sistema SIDRA (IBGE, 2009b).

Observações: (1) Os municípios de Itanhangá e Ipiranga do Norte foram criados em 2000 em áreas desmembradas do Município de Tapurah; (2) O Município de Santa Rita do Trivelato foi criado em 1999, em área desmembrada do Município de Nova Mutum. Em 2002, o município ampliou seus limites pela incorporação de área desmembrada do Município de Rosário Oeste. (3) Os dados de produção em 1999 das áreas correspondentes aos municípios de Santa Rita do Trivelato, Itanhangá e Ipiranga do Norte estão incorporados aos seus respectivos municípios de origem. (4) Os dados de produtividade referem-se à razão entre quantidade produzida e área colhida.

**Tabela 3.** Dados municipais de incremento de área colhida e produtividade da soja entre 1999 e 2007 e estimativa dos estoques médios de COS por município em áreas com soja em 1999 e 2007.

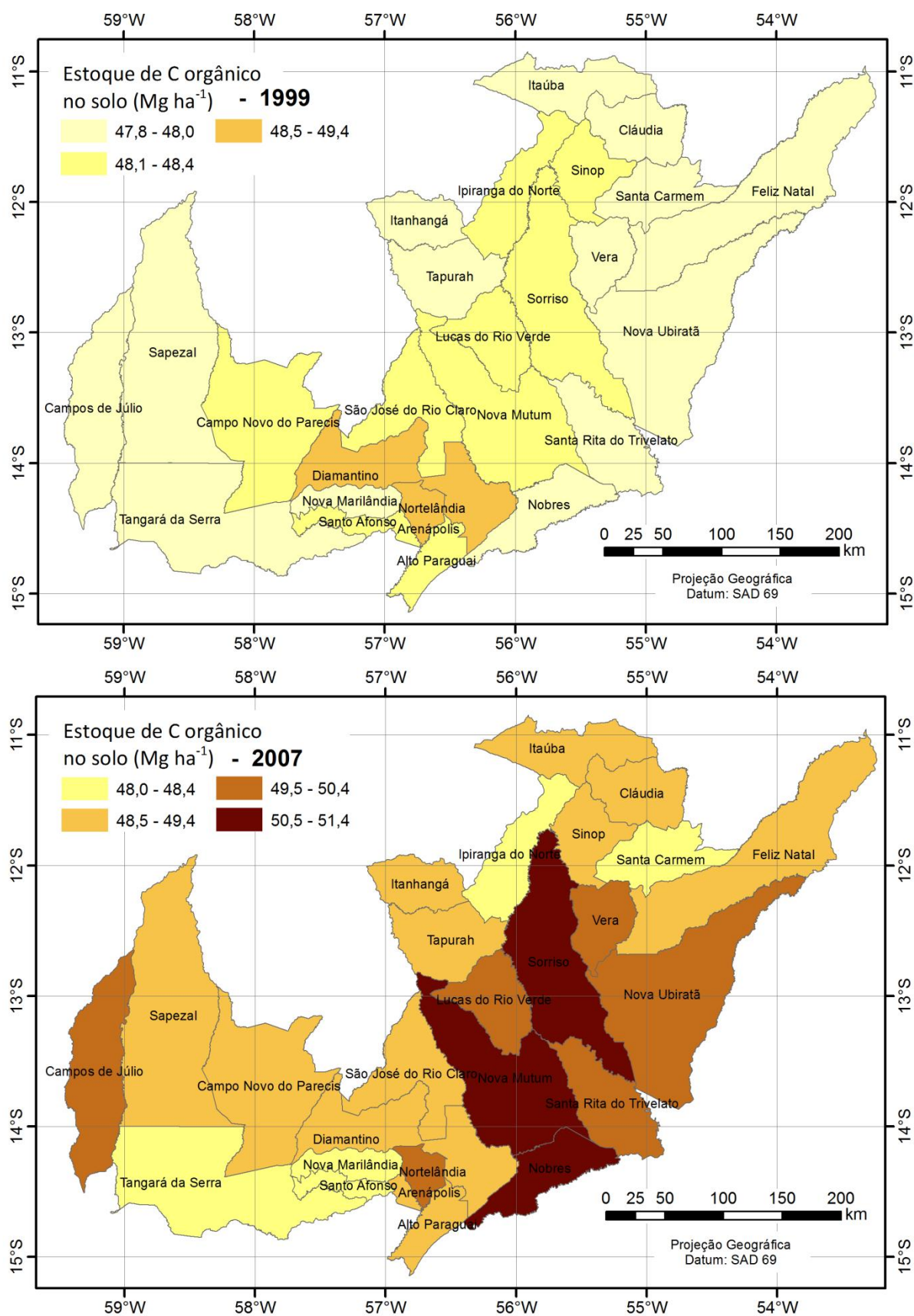
Município	Incremento Área colhida (ha)	Incremento Área colhida (%)	Razão Área colh.2007/ Área colh.1999	Incremento Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Incremento Produtividade (%)	Estoque COS 1999 (Mg ha <sup>-1</sup> )	Estoque COS 2007 (Mg ha <sup>-1</sup> )	Incremento Estoque COS (Mg ha <sup>-1</sup> )
Alto Paraguai	4.695	2,29	3,35	300	11,11	48,3	48,8	0,5
Arenápolis	-921	-2,22	0,00	-	-	48,1	48,6	0,5
Campo Novo Parecis	26.145	2,78	1,10	210	7,53	48,1	48,6	0,5
Campos de Júlio	44.897	6,63	1,42	120	4,00	48	49,8	1,8
Cláudia	3.000	0,79	1,25	60	2,17	48	48,5	0,5
Diamantino	53.651	7,03	1,24	248	9,43	48,6	49	0,4
Feliz Natal	42.000	3,71	-	-	-	48	48,5	0,5
Ipiranga do Norte	-	-	-	-	-	48	48	0
Itanhangá	-	-	-	-	-	48	48,5	0,5
Itaúba	3.000	0,66	1,25	60	2,17	48	48,5	0,5
Lucas do Rio Verde	63.035	17,27	1,41	44	1,54	48,1	49,9	1,8
Nobres	3.394	0,88	2,30	400	15,38	48	51,2	3,2
Nortelândia	5.910	4,38	2,14	300	11,11	49,3	49,8	0,5
Nova Marilândia	-1.161	-0,60	0,84	240	8,89	47,8	48,3	0,5
Nova Mutum	318.000	24,68	3,34	361	13,18	48,3	51,4	3,1
Nova Ubiratã	165.557	13,10	5,14	-16	-0,57	48	50,4	2,4
Santa Carmem	27.660	7,06	9,38	275	10,09	48	48,1	0,1
S. Rita do Trivelato	-	-	-	-	-	48	50,4	2,4
Santo Afonso	1.100	0,94	12,00	240	8,89	48,2	48,2	0
São José do R. Claro	39.339	7,80	2,22	410	15,36	48,2	48,5	0,3
Sapezal	115.410	8,53	1,55	325	11,65	48	48,5	0,5
Sinop	68.000	21,44	6,67	240	8,70	48,2	48,4	0,2
Sorriso	238.000	25,76	1,78	162	5,59	48,1	50,5	2,4
Tangará da Serra	22.000	1,90	1,85	120	4,44	47,8	48,1	0,3
Tapurah	226.754	19,55	6,67	277	9,88	48	48,5	0,5
Vera	67.500	22,89	28,00	600	25,00	48	49,6	1,6
Área de Estudo	1.536.965	10,64	1,96	217	7,75	48,2	49,5	1,3

Observações: (1) O percentual referente ao incremento de área colhida está relacionado à área total dos municípios em 1999. (2) O percentual de incremento de produtividade refere-se à produtividade em 1999. (3) No cálculo dos incrementos de área colhida, da razão entre as áreas colhidas e dos incrementos de produtividade, os dados de 2007 dos municípios de Ipiranga do Norte e Itanhangá foram adicionados aos do Município de Tapurah, ao qual pertenciam em 1999. Da mesma forma, os dados do Município de Santa Rita do Trivelato foram adicionados aos do município de Nova Mutum. (4) Para os municípios de Tapurah, Nova Mutum, Ipiranga do Norte, Itanhangá e Santa Rita do Trivelato foram considerados os limites municipais de 2007 na estimativa dos estoques de COS em 1999.



**Figura 4.** Percentual da área dos municípios colhida com soja nos anos de 1999 e 2007.





**Figura 5.** Estoque médio de carbono orgânico no solo por hectare em áreas colhidas com soja nos anos de 1999 e 2007. Dados estimados por município.

## Pastagens no polo de soja

A Tabela 4 apresenta as áreas com pastagens e estimativas dos estoques médios de COS por hectare em áreas com pastagens por município e para toda a área de estudo. Também é apresentado o cálculo de incremento no estoque de carbono. As Figuras 6 e 7 apresentam os mapas coropléticos de percentual da área dos municípios ocupados por pastagens e estimativas de estoque de carbono nos anos de 1996 e 2006, respectivamente.

Segundo a avaliação temporal realizada neste estudo, houve uma regressão média das áreas de pastagem de 24,5% de 1996 a 2006. Em 1996, as áreas de pastagens ocupavam 2.033.608 ha, 14,1% da área de estudo; em 2006 estas áreas totalizavam 1.536.241 ha, 10,5% da área de estudo. Segundo especialistas, atualmente, com o aumento da importância da produção de soja no segmento do agronegócio Brasileiro (DALL'AGNOL; HIRAKURI, 2009), parte de áreas de pastagem no Mato Grosso estão sendo convertidas para o cultivo de soja.

Os estoques médios de COS por hectare em áreas com pastagens por município refletem a distribuição das pastagens pelas diferentes classes de solo. Na área de estudo, há uma ampla dominância dos Latossolos e a maioria dos municípios apresenta suas áreas de pastagens sobre esses solos. Como os valores de COS original, quando as áreas com pastagens ainda apresentavam vegetação nativa, foram estimados apenas em função do tipo de solo, não houve grandes variações entre os valores médios estimados por município. Alguns municípios da parte sul da área de estudo apresentam algumas áreas com pastagens sobre Argissolos e Neossolos, mas os estoques originais de COS nesses solos são semelhantes aos dos Latossolos. Uma exceção é o Município de Campos de Júlio. Embora a área com pastagem desse município seja pouco expressiva em relação à área total de estudo, parte de suas pastagens estão mapeadas em áreas de Organossolos, solos nos quais os estoques originais de COS são muito maiores que em Latossolos. Como consequência, o município sobressai entre os demais quando se analisa o estoque médio de COS por hectare. A distribuição dos valores médios de COS originais por hectare em áreas mapeadas com pastagem em 2006 pode ser vista na Figura 7. Os valores são referidos como sendo do ano de 1996, ano em que supostamente essas áreas apresentavam vegetação natural ou possuíam pastagens recém implantadas, situações que nada ou pouco alteram os estoques originais de COS.

A Figura 7 também apresenta a situação em 2006 quanto à distribuição dos valores médios de estoques de COS por hectare para as áreas mapeadas com pastagem. Para a estimativa dos valores em 2006, supôs-se que o tempo decorrido da conversão de vegetação nativa para pastagem foi suficiente para a manifestação de alterações no valor do COS. Os fatores tomados como referência para essa conversão indicam que, quando esta ocorre em pastagens implantadas em Latossolos ou Neossolos, há uma redução muito pequena do estoque de COS. Já em outros tipos de solos, as alterações no COS decorrentes dessa conversão são relevantes e representam, em média, um aumento de 24 % no estoque de COS. Como há predominância dos Latossolos entre as áreas com pastagens, as alterações no estoque de COS na maioria dos municípios foram muito pequenas. Somente nos municípios da porção sul da área de estudo e em Campos de Júlio são observadas alterações mais expressivas, pela presença de áreas de pastagens sobre Argissolos e Organossolos.

Considerando as pastagens de toda a área de estudo e comparando os valores estimados para 1996 com os de 2006, o estoque de COS por hectare aumentou de 48,5 Mg ha<sup>-1</sup> para 50,3 Mg ha<sup>-1</sup>, um incremento de 1,8 Mg ha<sup>-1</sup> ou de apenas 3,7% em relação ao valor estimado para 1996.

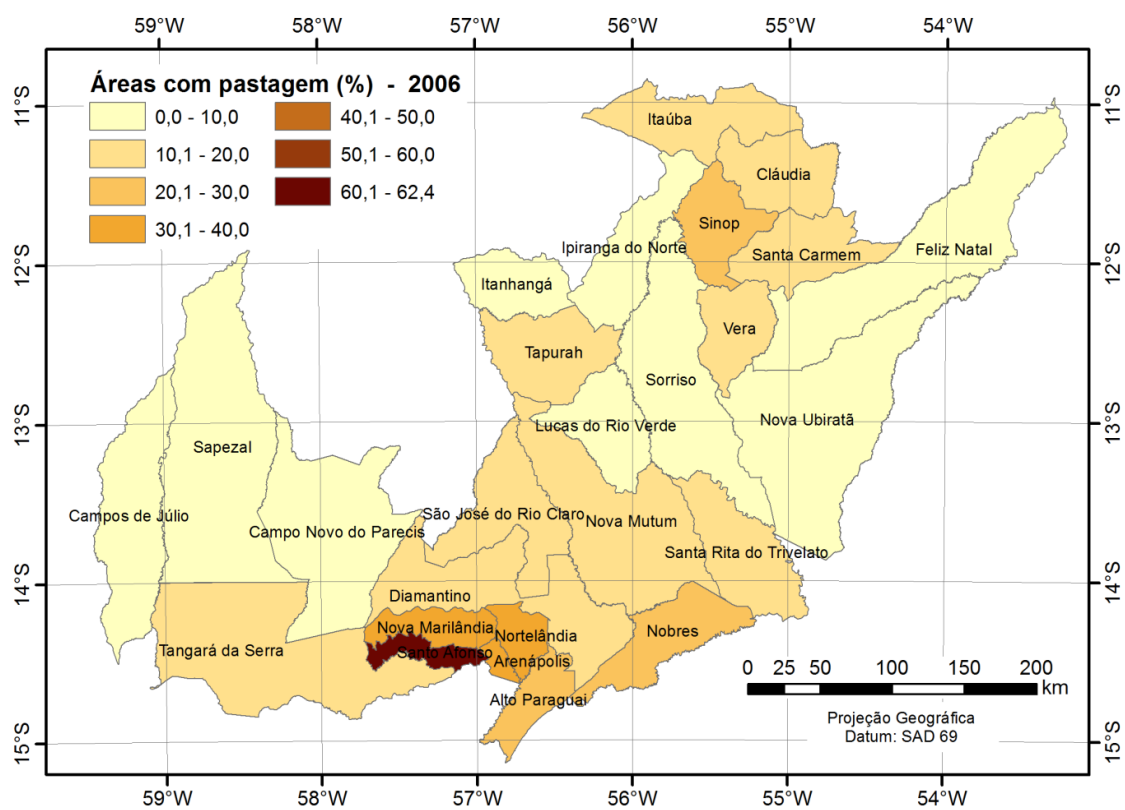
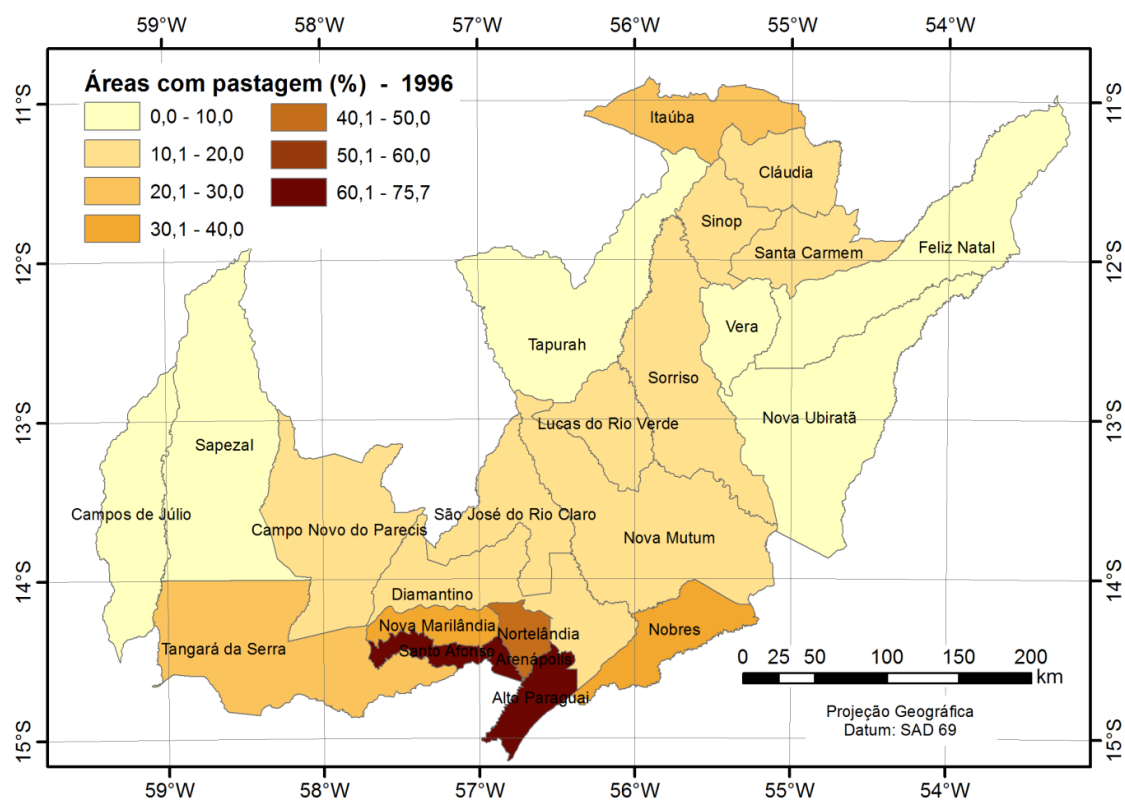


**Tabela 4.** Áreas com pastagens e estimativas dos estoques médios de COS por hectare em áreas com pastagens por município e para toda a área de estudo.

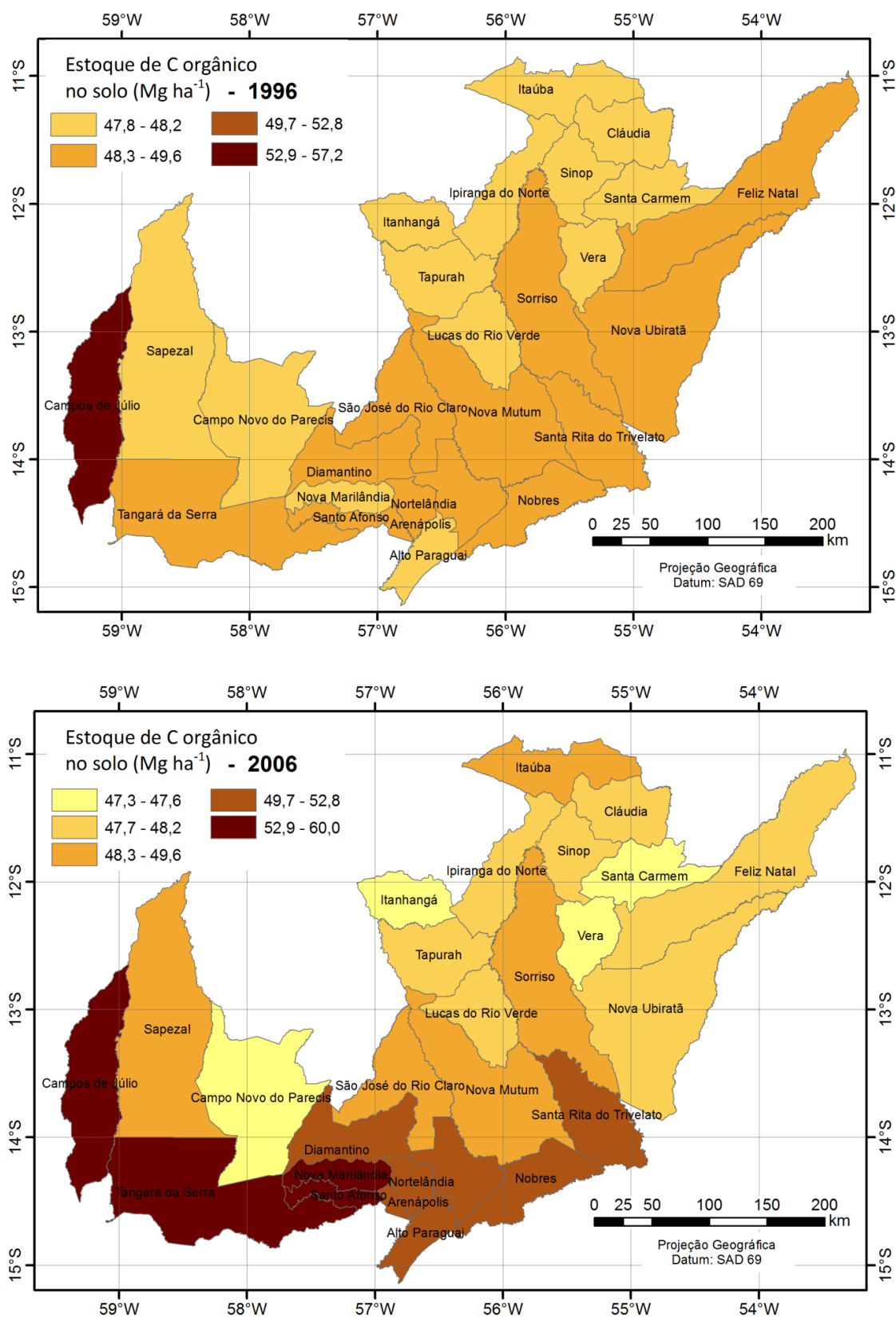
Município	Área do município 1996 (ha)	Área do município 2006 (ha)	Área com pastagens 1996 (ha)	Área com pastagens 1996 (%)	Área com pastagens 2006 (ha)	Área com pastagem 2006 (%)	Incremento área com pastagens (%)	Estoque de COS 1996 (Mg ha <sup>-1</sup> )	Estoque de COS 2006 (Mg ha <sup>-1</sup> )	Incremento Estoque COS (Mg ha <sup>-1</sup> )	Incremento Estoque COS (%)
Alto Paraguai	205.150	205.150	127.553	62,2	48.206	23,5	-38,7	47,8	50,8	3,0	6,28
Arenápolis	41.452	41.452	27.946	67,4	15.868	38,3	-29,1	48,5	51,3	2,8	5,77
Campo Novo Parecis	941.193	941.193	153.408	16,3	3.738	0,4	-15,9	47,8	47,3	-0,5	-1,05
Campos de Júlio	677.576	677.576	56.206	8,3	7.737	1,1	-7,2	57,2	60,0	2,8	4,90
Cláudia	381.506	381.506	56.106	14,7	60.087	15,8	1,1	48,0	47,6	-0,4	-0,83
Diamantino	762.678	762.678	116.940	15,3	111.787	14,7	-0,6	49,2	49,8	0,6	1,22
Feliz Natal	1.132.658	1.132.658	19.045	1,7	32.976	2,9	1,2	48,3	48,1	-0,2	-0,41
Ipiranga do Norte	-	415.707	-	-	38.711	9,3	-	48,0	47,6	-0,4	-0,83
Itanhangá	-	292.402	-	-	10.108	3,5	-	48,0	47,5	-0,5	-1,04
Itaúba	452.065	452.065	110.081	24,4	67.005	14,8	-9,6	48,1	48,3	0,2	0,42
Lucas do Rio Verde	365.017	365.017	52.804	14,5	21.345	5,8	-8,7	48,1	47,7	-0,4	-0,83
Nobres	385.327	385.327	136.707	35,5	84.756	22,0	-13,5	49,1	51,3	2,2	4,48
Nortelândia	135.055	135.055	60.420	44,7	42.108	31,2	-13,5	48,3	52,2	3,9	8,07
Nova Marilândia	194.270	194.270	58.750	30,2	69.856	36,0	5,8	48,1	54,2	6,1	12,68
Nova Mutum	1.288.726	952.894	188.247	14,6	111.546	11,7	-	48,5	48,5	0,0	0,00
Nova Ubiratã	1.263.667	1.263.667	91.949	7,3	126.733	10,0	2,7	48,2	48,0	-0,2	-0,41
Santa Carmem	391.972	391.972	40.177	10,2	39.736	10,1	-0,1	48,0	47,6	-0,4	-0,83
S. Rita do Trivelato	-	461.924	-	-	92.880	20,1	-	48,9	49,7	0,8	1,64
Santo Afonso	116.832	116.832	88.689	75,9	72.999	62,5	-13,4	48,3	55,3	7,0	14,49
São José do R. Claro	504.604	504.604	71.683	14,2	59.457	11,8	-2,4	49,1	49,3	0,2	0,41
Sapezal	1.352.520	1.352.520	58.193	4,3	16.529	1,2	-3,1	48,1	48,2	0,1	0,21
Sinop	317.137	317.137	61.833	19,5	89.016	28,1	8,6	48,1	47,6	-0,5	-1,04
Sorriso	923.901	923.901	93.990	10,2	36.329	3,9	-6,3	48,7	48,8	0,1	0,21
Tangará da Serra	1.155.114	1.155.114	238.528	20,6	191.268	16,6	-4,0	48,5	55,0	6,5	13,40
Tapurah	1.160.023	447.304	99.215	8,6	49.227	11,0	-	48,0	47,6	-0,4	-0,83
Vera	294.946	294.946	24.609	8,3	36.231	12,3	4,0	47,9	47,5	-0,4	-0,84
Área de Estudo	14.443.389	14.564.871	2.033.608	14,1	1.536.241	10,5	-3,6	48,5	50,3	1,8	3,71

Fonte: As áreas com pastagens em 2006 foram calculadas a partir de mapa de uso e ocupação das terras elaborado pela SEPLAN (2009a). As áreas com pastagens em 1996 foram levantadas pelo Censo Agropecuário de 1995/1996 (IBGE,2009b). As áreas dos municípios foram calculadas a partir de mapa digital dos limites municipais elaborados pelo IBGE.

Observações: (1) Os municípios de Itanhangá e Ipiranga do Norte foram criados em 2000 em áreas desmembradas do Município de Tapurah; (2) O Município de Santa Rita do Trivelato foi criado em 1999 em área desmembrada do município de Nova Mutum. Em 2002, o município ampliou seus limites pela incorporação de área desmembrada do Município de Rosário Oeste; (3) Para os municípios de Tapurah, Nova Mutum, Ipiranga do Norte, Itanhangá e Santa Rita do Trivelato foram considerados os limites municipais de 2006 na estimativa dos estoques de COS em 1999; (4) Os percentuais de área com pastagens e incremento de área com pastagens são relativos à área total do município; (5) Os incrementos de áreas com pastagens em municípios com alterações em seus limites entre 1996 e 2006 não foram calculados.



**Figura 6.** Percentual da área dos municípios ocupada por pastagens nos anos de 1996 e 2006.



**Figura 7.** Estoque médio de carbono orgânico no solo por hectare em áreas de pastagens nos anos de 1996 e 2006. Dados estimados por município.

## Conclusões

Nos municípios avaliados do Estado de Mato Grosso, em solos cultivados com soja, a variação do estoque médio de COS por hectare, obtida através das estimativas realizadas, foi positiva, mas não apresentou diferenças significativas entre os municípios da região. A tendência de aumento do estoque de COS é reflexo do plantio direto, uma forma de manejo que favorece a estabilização da matéria orgânica no solo.

Os estoques médios de COS por hectare em áreas com pastagens por município refletem a distribuição das pastagens pelas diferentes classes de solo. Na área de estudo, a maioria dos municípios apresenta suas áreas de pastagens sobre Latossolos ou Neossolos. Considerando que a implantação de pastagens em áreas de Latossolos e Neossolos pouco altera os estoques de COS, as alterações observadas foram muito pequenas comparando-se a situação de 1996 com a de 2006.

Este estudo mostra o grande potencial do uso de geotecnologias no monitoramento espaço-temporal de variáveis ambientais, principalmente aquelas com importância em ciclos e processos globais. É importante salientar, contudo, que devido à grande heterogeneidade de solos, e dentro de cada tipo mais uma gama de variações, além dos diferentes usos do solo e seus históricos, existe uma matriz muito grande de possibilidades de efeitos sobre o estoque de C. Assim, a estimativa de estoques de carbono com a utilização de plataformas de informações espacializadas em escalas mais precisas é a alternativa mais adequada, com o objetivo de obter valores e cálculos mais próximos da realidade. Compilações de informações existentes e estudos neste sentido precisam ser aprofundados.

## Referências

- ADDISCOT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, Oxford, UK, v. 46, p.161-168, 1992.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v.25, p.189-197, 2001.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in soils of the **World European Journal of Soil Science**, Oxford, UK, v.47, p.151-163, 1996.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; NETO, M. S.; METAY, A.; PERRIN, A. S.; SCOPEL, E.; RAZAFIMBELO, T.; BLAVET, D.; PICCOLO, M. D.; PAVEI, M.; MILNE, E. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, FR, v.26, n.1, p.1-8, 2006.
- CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil - structure, function and turnover**. Tjele, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences, 2000. 95 p. (Report, 30).
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores de Soja**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=1>>. Acesso em: 15 mar.2009.
- DALL'AGNOL, A; HIRAKURI, M. H. Realidade e perspectivas do Brasil na produção de alimentos e agroenergia, com ênfase na soja. **Informativo da Embrapa Soja**, 2009. 8 p.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, HO, v. 79, p. 69-116, 1997.

FISHER, M. J.; BRAZ, S. P.; SANTOS, R. S. M. dos; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Another dimension to grazing system: soil carbon. **Tropical Grasslands**, v.41, p.65-83, 2007.

GREENLAND, D. J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics - from myth to complex reality. In: LAL, R; SANCHEZ, P.A. (editores). **Myths and science of soils of the tropics**. Madison, SSSA/ASA, 1992. p.17-33.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas interativos**. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/vegetacao/viewer.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Rio de Janeiro, 2009b. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 mar. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas digitais**. Rio de Janeiro, 2009c. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/malhas\\_digitais/](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/)>. Acesso em: 21 mar. 2011.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, DC, v. 304, p.1623-1627, 2004.

MACHADO, P. L. O. de A.; CAMPOS, A. C.; SANTOS, F. S. **Métodos de preparo de amostras e de determinação de carbono em solos tropicais**. Brasília, DF: MAPA, 2003. 9 p. (Circular Técnica Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

MAIA, S. M. F. **Estimativa das emissões de dióxido de carbono do solo devido às mudanças no uso da terra em Rondônia e Mato Grosso**. 161 f. 2009. Tese – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MELLO, F.F.C. **Estimativas dos estoques de carbono dos solos dos estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores às intervenções antrópicas**. 88 f. 2007. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, L. R. G.; LIMA, J. M. de; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. (Coord.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2003, p.210-248.

MIRANDA, E. J. **Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo do Estado do Mato Grosso**. 86 f. 2007. Dissertação - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO, F. DEL B.; FREITAS, R.; MORISETTE, J. Cropland expansions changes dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, p. 14637-14641, 2006.

RESCK, D. V. S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 21 p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86 p.

SCHIMEL, D. S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. **Global Change Biology**, v.1, p.77-91, 1995.

SCHLESINGER, W.H. **Biogeochemistry**: an analysis of global change. San Diego: Academic Press, 1991. 368 p.

SCHOLES, R. J.; BREEMEN, N. The effects of global change on tropical ecosystems. **Geoderma**, v. 79, p. 9-24, 1997.

SCHUMAN, G. E.; JANZEN, H. H.; HERRICK, J. E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. **Environmental Pollution**, v.116, p.391-396, 2002.

SEPLAN. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação do Estado do Mato Grosso. **Mapas temáticos digitais (Âmbito do Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado / ZEE-MT) , 2009a**. Disponível em: <www.zsee.seplan.mt.gov.br> . Acesso em: 24 mar. 2010.

SEPLAN. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação do Estado do Mato Grosso. **Formações vegetais uso e ocupação do solo - escala 1:250.000 - aspectos gerais: procedimentos metodológicos e atividades realizadas, 2009b**. Disponível em: <www.zsee.seplan.mt.gov.br/.../1.../RT-001/.../DSEE-VG-US-RT-001.doc> . Acesso em: 24 mar. 2010.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYSE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SA, J. C. D.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. **Agronomie**, v. 22, n.7/8, p.755-775, 2002.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMAN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.117-161, 1997.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.84, n.1, p.28-40, 2005.



*Monitoramento por Satélite*

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

